

МОДЕРНИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИИ ВЫСАДКИ КОНЦОВ ТРУБ С ЦЕЛЬЮ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ГИДРАВЛИЧЕСКОГО ПРЕССА ФИРМЫ SMS MEER

MODERNIZATION OF THE PIPE ENDS UPSETTING TECHNOLOGY IN ORDER TO IMPROVE THE EFFICIENCY OF HYDRAULIC PRESS FROM SMS MEER

М.В.Ерпалов^{1,2}, Г.Н.Кондратьева², А.А.Богатов¹

¹ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н.Ельцина»,
г.Екатеринбург, mikhail.erpalov@chelpipe.ru

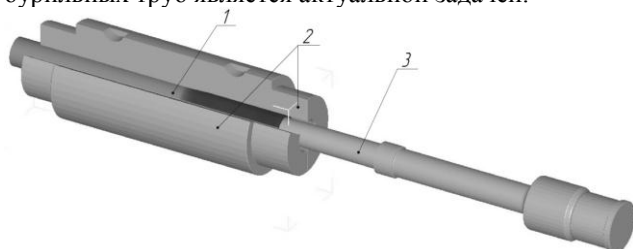
²ОАО «Первоуральский новотрубный завод», г. Первоуральск

Abstract

This work is devoted to the process of pipe ends upsetting in hydraulic presses from SMS Meer. The issues of the upsetting technology optimization in order to improve the quality of products and to reduce manufacturing costs are considered. The analyses of metal forming in the deformation zone and thermal conditions of the process were carried out, the equation to calculate the press forces was obtained and the ways to improve the economic indicators of the process were identified. As a result, it was allowed to optimize the pipe ends upsetting process and to ensure the production yield at the level of 99.8% as well as to master the production of drill pipes.

ВВЕДЕНИЕ

Расширение номенклатуры производимых труб и повышение их качества являются одними из основных направлений для укрепления позиций предприятий на рынке труб нефтяного сортамента. Обеспечение эксплуатационной надежности насосно-компрессорных и бурильных труб приводит к необходимости повышения прочности соединения тела трубы с муфтой или замком за счет утолщения концов труб. Таким образом, производство высококачественных насосно-компрессорных труб с высаженными концами и бурильных труб является актуальной задачей.



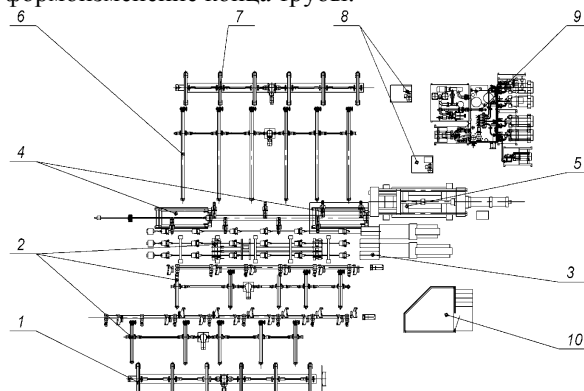
1 – труба с нагретым концом; 2 – комплект матриц;
3 – пуансон

Рис. 1 – Схема высадки концов труб на гидравлическом прессе

В зависимости от размеров и вида утолщений концов труб операцию высадки производят в один, два или более переходов с применением одного или двух нагревов конца трубы на гидравлических прессах или горизонтально-ковочных машинах путем осаживания конца трубы пуансоном в закрытую полость разъемных матриц (рис. 1) [1]. Различают наружную высадку концов труб, внутреннюю, а также комбинированную.

В настоящее время высадку концов труб производят в основном на гидравлических прессах

фирмы SMS Meer [2]. На рис. 2 представлена типичная схема расположения оборудования участка высадки труб. Технологический процесс производства НКТ с высаженными наружу концами заключается в следующем. Трубы из загрузочного устройства поштучно передаются на нагрев концов в трех последовательно расположенных индукторах. В зависимости от заданной длины нагрева индукторы автоматически позиционируются относительно нагреваемого конца трубы. В первом и втором индукторах производится предварительный нагрев до температуры 850°C. Установленная температура нагретых концов на выходе из третьего индуктора находится в диапазоне 1240-1280°C. После отвода третьего индуктора, труба клещевым манипулятором задается в пресс, после чего каретка пуансонодержателя совершает ускоренный холостой, а затем рабочий ход и осуществляется формоизменение конца трубы.



1 – загрузочный карман; 2 – входная сторона пресса; 3 – индукторы; 4 – клещевой манипулятор;
5 – гидропресс; 6 – выходная сторона пресса; 7 – карман для высаженных труб;
8 – баки для приготовления смазки; 9 – маслостанция; 10 – пульт управления

Рис. 2 – Схема расположения оборудования участка высадки НКТ

Теоретическое и экспериментальное исследование формоизменения металла при высадке концов труб

Понимание особенностей формоизменения металла при высадке концов насосно-компрессорных труб позволяет оперативно управлять технологическими параметрами рассматриваемого процесса с целью обеспечения стабильного и высокого уровня качества продукции. Вопросу анализа формоизменения металла при утолщениях концов труб посвящены работы [3-7].

В представленной работе анализ формоизменения металла выполнен с помощью метода конечных элементов, реализованного в программе Deform-3D¹. В результате решения задач математического моделирования определен характер формоизменения концов труб в процессе высадки [7].

Характер формоизменения металла в процессе деформации можно описать следующим образом. После соприкосновения трубы с поршневой частью пуансона наступает стадия потери устойчивости продольного и поперечного профиля трубы. На рис. 3 представлено векторное поле радиальной составляющей скорости перемещения частиц металла. Видно, что в разных областях по длине деформируемого конца частицы металла трубы приобретают разные по величине и направлению скорости перемещения, а конец трубы приобретает синусоидальную форму. Постепенно профиль трубы приобретает бочковидную форму, ограниченную рабочей поверхностью матриц.

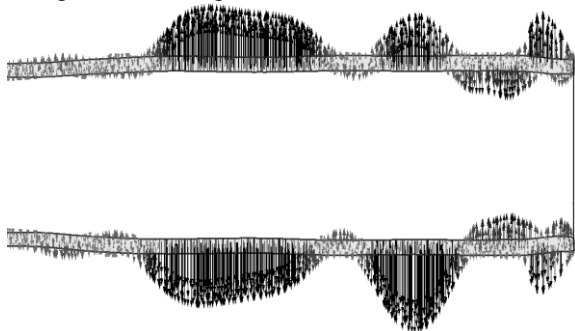


Рис. 3 – Стадия потери устойчивости

Следующей стадией прессования является локальное заполнение очага деформации между пуансоном и матрицами, начиная от поршневой части пуансона. Важно, что имеет место локализация деформации в малом объеме вблизи

¹ Лицензия кафедры «Обработка металлов давлением» ФГАОУ ВПО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н.Ельцина»

зоны контакта металла с пуансоном. На рис. 4 показано распределение скорости перемещения частиц металла в продольном сечении трубы. Частицы металла в зоне локализации деформации перемещаются в направлении от матриц к пуансону, после достижения контакта с которым, зона локализации перемещается от торца трубы в сторону конического пояса без заметных изменений в размере.

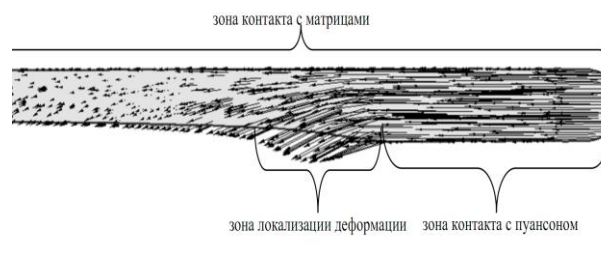


Рис. 4 – Стадия заполнения очага деформации

В последнюю очередь происходит формирование конического пояса высаженного конца трубы. На рис. 5 представлено распределение скорости перемещения частиц металла в продольном сечении трубы, при анализе которого можно сделать вывод о том, что за счет деформации металла в области 1 происходит заполнение калибра с внутренней стороны трубы в зоне конического пояса высадки. При этом под действием осевых усилий со стороны частиц металла, находящихся в области 1, частицы металла в области 2 перемещаются в сторону матриц, формируя переходную зону высадки, расположенную сразу за коническим пояском. Следует также отметить, что в последней стадии процесса прессования наблюдается конкурирующий процесс – образование торцевого облоя за счет течения металла в зазор между поршневой частью пуансона и матрицами. Таким образом, наиболее вероятными дефектами при высадке концов насосно-компрессорных труб является незаполнение калибра на внутренней поверхности в зоне конического пояса матрицы, а также образование торцевого облоя.

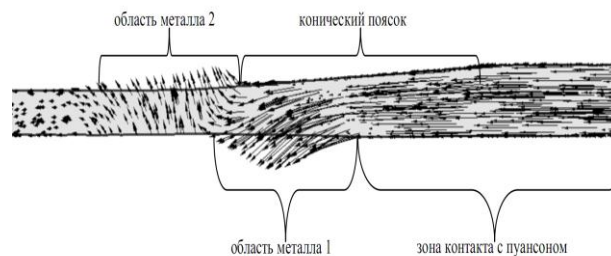
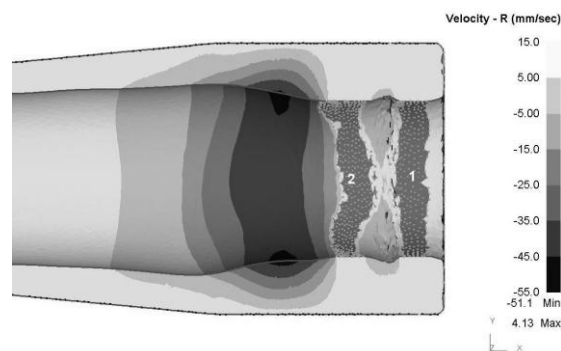


Рис. 5 – Окончательная стадия заполнения очага деформации

При уменьшении толщины стенки насосно-компрессорных труб, а также в процессе высадки концов буровых труб в один переход, наблюдается образование другого вида дефектов –

незаполнение калибра на внутренней поверхности трубы вблизи торца. На рис. 6 представлено поле радиальной составляющей скорости перемещения частиц металла. Видно, что при заполнении калибра образуются области контакта металла трубы с пуансоном 1 и 2, при этом локализация очага деформации смещается левее области 2. Контакт в зоне 2 с холодным инструментом приводит к интенсивному охлаждению металла, что в свою очередь препятствует заполнению калибра между зон 1 и 2.



1 – зона первичного контакта с пуансоном; 2 – зона вторичного контакта с пуансоном

Рис. 6 – Образование внутренних незаполнений

Опыт производства труб с высаженными концами на ОАО «ПНТЗ» подтверждает результаты анализа особенностей формоизменения металла методом конечных элементов. На рис. 7 представлены фотографии основных видов дефектов на высаженной части труб.

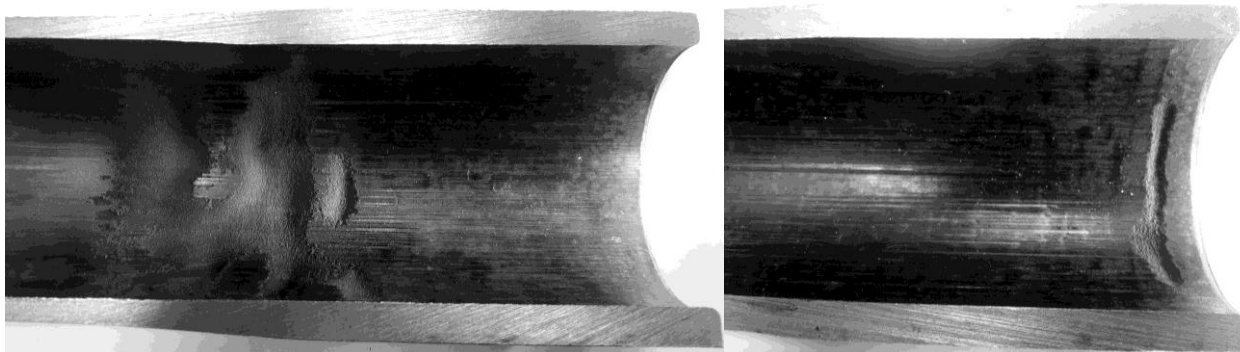


Рис. 7 – Внутренние незаполнения при высадке концов труб

Установлено, что для повышения надежности технологии производства труб и повышения их качества эффективным является ограничение толщины стенки труб, поступающих на высадку, увеличение длины нагрева конца трубы с одновременным незначительным охлаждением торца трубы в третьем индукторе.

Экспериментальное исследование температурных полей при индукционном нагреве концов труб перед высадкой

Одними из важнейших технологических параметров высадки концов труб на гидравлических прессах являются длина и температура нагрева конца трубы. В процессе нагрева происходит перераспределение тепла от горячих участков трубы к холодным. В результате этого эффективная длина и температура нагрева отличаются от заданных значений, что необходимо учитывать для обеспечения высокого качества продукции.

Исследование процесса нагрева концов труб перед высадкой проведено в условиях производства ОАО «ПНТЗ» на гидравлическом прессе фирмы SMS Meer. Выбор методики и оборудования для проведения исследования осуществлялся исходя из

необходимости определения температурных полей в металле заготовки по всей длине нагреваемого участка трубы. Для проведения исследований был использован тепловизор ThermoCAM P640 производства фирмы FLIR Systems. Однако сложность применения тепловизора при определении температурных полей в металле вызвана тем, что при больших перепадах температур для разных точек получаемых термограмм необходимо устанавливать собственное значение коэффициента излучения, которое в значительной степени зависит от температуры. Для определения степени черноты марки стали 30Г2 была использована хромель-алюминиевая термопара (ХА), горячий спай которой был установлен в специально подготовленное отверстие в трубе 73,02x5,51 мм на расстоянии 105 мм от торца и был зачеканен для обеспечения надежного контакта с металлом трубы.

В процессе последовательного нагрева одной трубы в трех индукторах были зафиксированы значения показаний термопары. Нагрев трубы осуществлялся до температуры 1290°C на длине 310 мм Одновременно с этим производилась регистрация полей температуры металла по длине

заготовки с помощью тепловизора. Обработка результатов измерений, полученных с помощью тепловизора, производилась в программе FLIR ResearchIR². Значения степени черноты были определены путем приведения температуры на термограммах в точке контакта с термопарой в соответствие с показаниями самой термопары.

Следует отметить, что степень черноты в холодном состоянии была получена равной 1. Это обусловлено влиянием отраженного тепла, а также тем фактом, что засверленное отверстие в трубе представляет собой модель, схожую с моделью абсолютно черного тела. Важным также является и то, что показания стационарных пирометров превышают показания термопары, при этом разница в значениях температуры для второго индуктора 107°C значительно выше, чем для третьего индуктора 20°C, т.к. стационарные пирометры настроены на одинаковую степень черноты без учета влияния температуры, что приводит к завышению показаний во втором индукторе.

Результаты определения зависимости коэффициента излучения от температуры были аппроксимированы ломаной линией, состоящей из двух участков (рис. 8). Уравнение зависимости было получено в следующем виде:

² Лицензия кафедры «Обработка металлов давлением» ФГАОУ ВПО «УрФУ имени первого Президента России Б.Н.Ельцина»

$$\varepsilon = \begin{cases} 1,00145 - 0,000057971 \cdot T, \text{ при } T \leq 657,2^\circ\text{C}; \\ 1,28892 - 0,000495395 \cdot T, \text{ при } T > 657,2^\circ\text{C}. \end{cases} \quad (1)$$

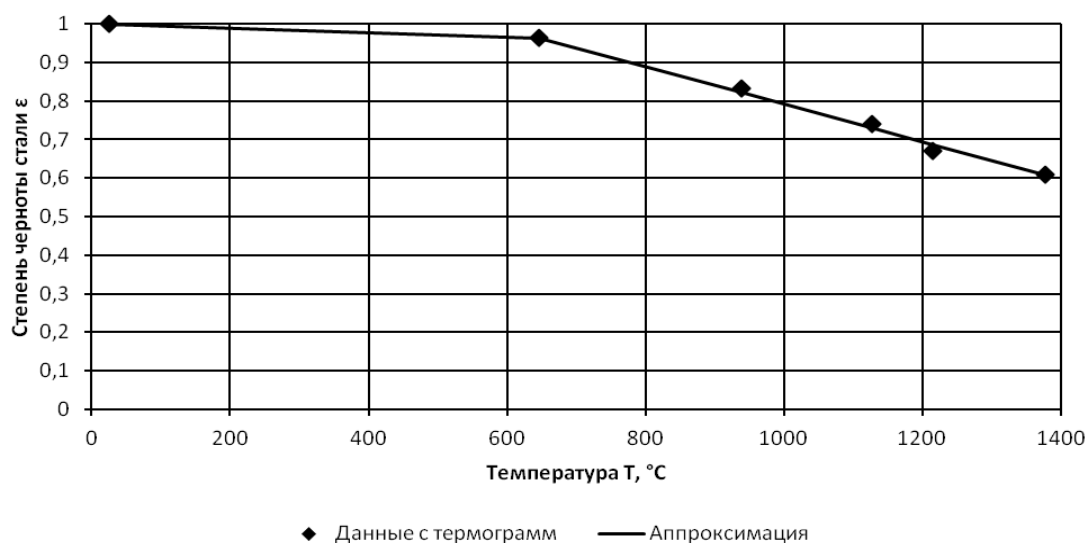


Рис. 8 – График зависимости степени черноты стали 30Г2 от температуры

Для исследования температурных полей в металле заготовки нагреву были подвергнуты шесть труб из стали марки 30Г2. Нагрев труб осуществлялся по тем же режимам.

На первом этапе изучения процесса индукционного нагрева концов труб был проведен сравнительный анализ результатов, полученных с помощью стационарных пирометров, включенных в систему автоматики пресса, и тепловизора. Было установлено, что они имеют хорошую сходимость, однако при условии, что степень черноты выбрана постоянной и не зависящей от температуры. В реальных же условиях степень черноты вносит существенные изменения в получаемые результаты.

На втором этапе был проведен анализ температурных полей в металле заготовки при

индукционном нагреве с учетом коэффициента излучения. При этом трубы с номерами 1 и 6 были исключены из рассмотрения, т.к. согласно технической документации на оборудование при запуске и завершении работы установки индукционного нагрева температура первой и последней трубы может быть завышена на величину от 5 до 15%.

На рис. 9 приведено распределение температур по длине нагретых концов труб №№2-5. Температуры определялись по термограммам по оси заготовки (в горизонтальной плоскости) с шагом приблизительно 20 мм начиная от торца каждой трубы. Распределение температур вблизи торца трубы определены с шагом 2-3 мм.

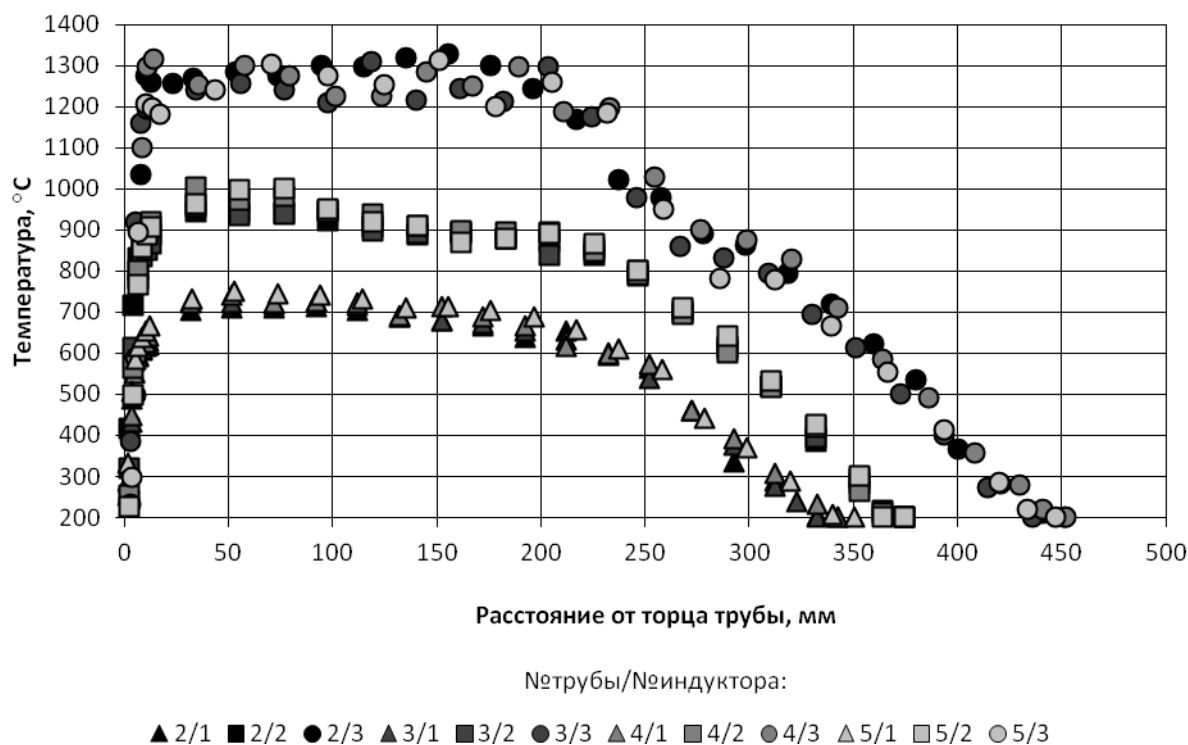


Рис. 9 – Распределение температур по длине заготовок

Анализ данных, представленных на рис. 9 позволяет утверждать, что повторяемость температурных полей от трубы к трубе уменьшается при переходе от первого индуктора к третьему. Разница температур в одних и тех же сечениях рассмотренных труб находится на уровне 30°C для индуктора №1, 60°C – для индуктора №2 и 100°C – для индуктора №3. Средняя температура нагрева концов труб на выходе из 3-го индуктора составляет 1265°C, что на 25°C ниже установленного значения.

Длина нагрева до целевой температуры не соответствует заданному значению 310 мм. Это происходит из-за теплопроводности от горячего участка трубы к холодному. Длина участка с переходными значениями температур оставляет не менее 100 мм после нагрева в первом и втором индукторах, и не менее 200-250 мм – в третьем индукторе.

Уменьшение длины нагретого участка до заданной температуры на величину до 60÷80 мм необходимо учитывать при назначении режимов нагрева. Оптимальным считается совпадение начала переходного температурного участка трубы (начало падения температуры) с переходным участком матриц. На основании этого устанавливаемое значение длины нагреваемого конца заготовки должно определяться по формуле:

$$L_{\text{нагр.}} = L_{\text{кон.}} + L_{\text{выс.}} + L_{\text{см}} + 60 \div 80 \quad (2)$$

где $L_{\text{кон.}}$ – длина конического пояса высадки, мм;

$L_{\text{выс.}}$ – длина цилиндрического участка высадки, мм;

$L_{\text{см}}$ – длина участка смещаемого объема, мм;

60÷80 мм – поправка на потери тепла в результате теплопроводности.

Таким образом, установлена зависимость степени черноты стали марки 30Г2 от температуры и доказано соответствие получаемых данных и измерений с помощью термопары. Однако для корректного отображения действительной температуры нагрева конца трубы во втором индукторе рекомендовано установка значения коэффициента излучения 0,93 в настройках пирометров второго индуктора.

Установлено, что показания пирометров третьего индуктора от действительных значений температур отличаются незначительно. Тем не менее, длина нагрева отличается от установленного значения существенно. За счет теплопроводности металла трубы от горячих участков к холодным эффективная длина нагрева уменьшается на величину до 60÷80 мм. Зависимость (2) позволяет определить величину нагрева конца трубы с учетом потерь тепла за счет теплопроводности, а также позволяет с минимальными временными затратами и потерями металла достигать требуемого качества продукции.

Методика расчета необходимого усилия прессования

Определение необходимого усилия деформации является важным этапом при назначении режимов прессования. Повышение давления в главном гидроцилиндре прессы позволяет улучшить заполнение очага деформации и обеспечивает отсутствие дефектов в виде раковин и незаполнений как на наружной, так и на внутренней поверхности высадки. Однако слишком большие значения давлений приводят не только к более жестким условиям эксплуатации оборудования и повышенному износу инструмента, но и к образованию дефектов в виде торцевого облоя или к чрезмерному уменьшению внутреннего диаметра трубы за рабочим участком пуансона.

Вопросам определения энергосиловых параметров процесса высадки посвящены работы [8,9]. Среди аналитических методов определения необходимого усилия прессования можно выделить:

- инженерный метод;
- метод верхней оценки;
- метод конечных элементов.

Недостатком первого метода является занижение расчетных значений усилия прессования, а последнего – длительный срок компьютерных расчетов. В работе поставлена и решена задача определения энергосиловых параметров процесса методом верхней оценки, из названия которого ясно, что расчетные значения усилий прессования больше действительных, что в свою очередь обеспечивает проработку внутренней поверхности трубы с минимальным облоем.

Общий подход к применению метода верхней оценки для идеально пластического

материала заключается в построении кинематически возможных полей скоростей для обеспечения простого решения задачи [10]. Для этого удобно разбить весь очаг деформации на ряд жестких блоков, скорости каждой частицы которых одинаковы, а также на ряд блоков пластической деформации. При этом вся затраченная мощность сил концентрируется в блоках пластической деформации, на границах блоков и на контактной поверхности с инструментом. Далее составляется баланс мощностей, решение которого позволяет определить усилие деформации:

$$N_d = \sum (N_i + N_j + N_k), \quad (3)$$

где $N_d = P \cdot v_0$ – мощность всех сил, выделяемых в процессе деформации, здесь P – искомого усилие прессования;

N_i – мощности сил трения на контакте металла с инструментом;

N_j – мощности сил среза на границах блоков;

N_k – мощности внутренних сил, затрачиваемых на пластическую деформацию.

Упрощенная схема очага деформации для наружной высадки насосно-компрессорных труб представлена на рис. 10. Труба зажата в специальных кулачках, а пуансон имеет скорость v_0 в осевом направлении. Благодаря перемещению пуансона происходит заполнение свободного пространства матрицы до заданной формы высадки.

Труба имеет исходные размеры наружного радиуса R_0 , внутреннего радиуса – r_0 . Радиус высаженной части – R_1 , длина цилиндрической части – $L_{ц}$, длина конического пояса – b .

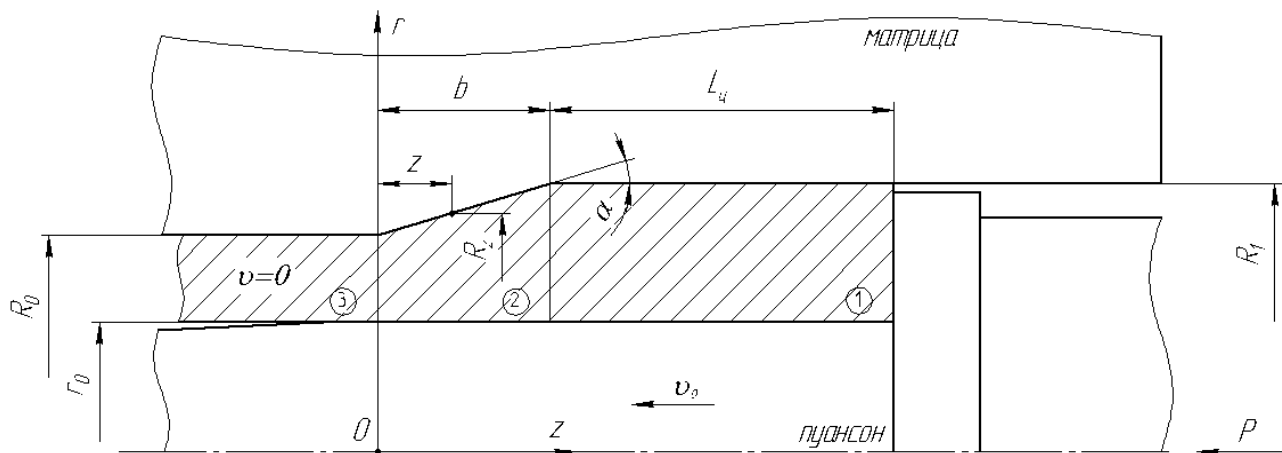


Рис. 10 – Схема очага деформации

Для решения конкретной задачи в работе сделан ряд допущений:

1. Материал трубы принят идеально пластическим, т.е. $T = \tau_s$, где T – интенсивность степени касательных

напряжений, τ_s – сопротивление деформации на сдвиг;

2. Материал трубы несжимаемый;

3. Рассмотрена осесимметричная постановка задачи;
4. Рассмотрена конечная стадия деформации при полном заполнении калибра;
5. Для упрощения расчетов диаметр рабочей части пуансона принят постоянным и равным внутреннему диаметру трубы.

Очаг деформации разбит на три блока. Блок 1 жесткий и имеет постоянную скорость, равную скорости пуансона, блок 2 – зона пластической деформации, блок 3 жесткий и неподвижный.

С учетом имеющихся граничных условий и выбранного разбиения очага деформации на блоки кинематически возможные поля скоростей для каждого из них имеют вид:

$$\begin{aligned} & \text{для блока 1} \begin{cases} v_r = 0; \\ v_z = -v_0; \end{cases} \\ & \text{для блока 2} \begin{cases} v_r = \frac{v_0}{2b} \left(r - \frac{r_0^2}{r} \right); \\ v_z = -\frac{v_0}{b} \cdot z. \end{cases} \end{aligned}$$

$$k_3 = 3r_0^6 - 12r_0^5 R_0 - 9r_0^2 R_0^4 + r_0^4 (5R_0^2 + 5R_0 R_1 - R_1^2) + 3R_0^4 (R_0^2 + R_0 R_1 + R_1^2);$$

$$k_4 = 4r_0^3 + R_0^3 + R_1^3 - 3r_0^2 (R_0 + R_1);$$

ψ – показатель трения по Зиббелю.

Вычисления по полученной формуле удобно реализовать в электронных таблицах, тогда подстановкой необходимых параметров калибровки инструмента и свойств материала можно быстро определять численное значение усилия прессования.

На рис. 11 приведено сравнение усилий деформации, найденных с помощью метода конечных элементов и метода верхней оценки. Для расчета были приняты значения коэффициента трения 0,3; сопротивления деформации материала 50 МПа. Точность определения усилия деформации методом конечных элементов определяется величиной шага моделирования (решение задачи дискретно).

$$\text{для блока 3} \begin{cases} v_r = 0; \\ v_z = 0. \end{cases}$$

Кинематическое возможное поле скоростей для блока 2 найдено с учетом предположения, что деформация вдоль оси z распределена равномерно, т.е. скорость деформации сдвига вдоль оси z постоянна:

$$\xi_{zz} = \frac{\partial v_z}{\partial z} = \text{const}.$$

Для зоны пластической деформации 2 интенсивность степени деформации сдвига равна:

$$H_2 = \frac{v_0}{b} \sqrt{3 + \frac{r_0^4}{r^4}}.$$

В результате расчета всех компонент мощности деформации найдена зависимость для определения требуемого усилия деформации:

$$P = \frac{\pi \sigma_s}{\sqrt{3}} \left[\psi \left(b r_0 + 2 L_n R_1 + \frac{k_1 k_2}{b} \right) + \frac{k_3}{3 R_0^2 \sqrt{3 R_0^4 + r_0^4}} + \frac{k_4}{3b} \right], \quad (4)$$

$$\text{где} \quad k_1 = \sqrt{\frac{(R_1 - R_0)^2 + b^2}{R_1^2 (4b^2 - 2r_0^2) + r_0^4 + R_1^4}};$$

$$k_2 = r_0^4 - r_0^2 R_1 (R_0 + R_1) + R_0 R_1 (2b^2 + R_1^2);$$

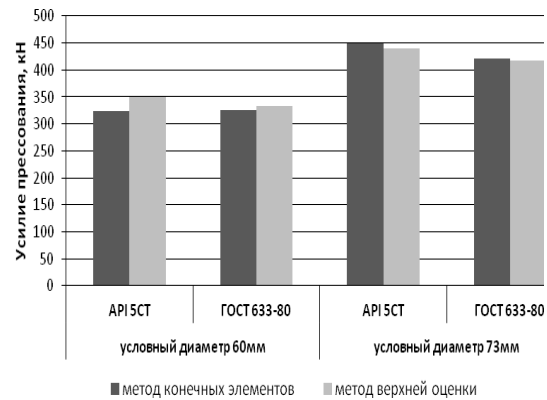


Рис. 11 – Сравнение методов определения усилия деформации

Из рис. 11 видно, что предложенная математическая модель для определения усилия прессования имеет достаточно высокую сходимость с результатами, полученными методом конечных элементов, а также удовлетворяет реальным условиям производства. Эта модель может быть использована при разработке новых технологий наружной высадки концов труб, например при освоении новых видов продукции.

Модернизация технологии изготовления инструмента для высадки концов труб

Рабочие температуры инструмента при установившемся режиме работы прессы составляют

для матриц 180-250°C, для пуансонов – 100-150°C. Инструмент работает в достаточно тяжелых условиях, усилие деформации составляет не менее 350 кН, а давление в главном цилиндре прессы – 10-15 МПа. На рабочей поверхности инструмента не допускаются трещины, наваренные частицы металла, грубая сетка разгара (рис. 12), которые являются основными причинами выхода его из строя.

Одним из направлений повышения износостойкости является упрочнение поверхности инструмента [11] способом азотирования. Под азотированием понимается процесс диффузионного насыщения поверхностного слоя стального изделия или детали азотом при нагреве в соответствующей среде.

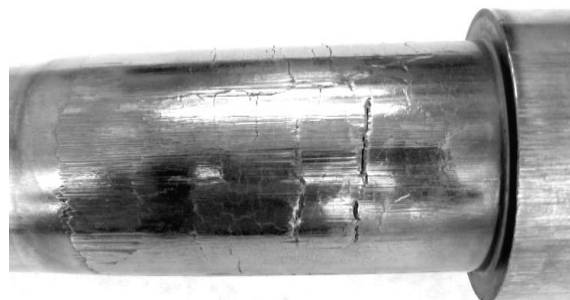


Рис. 12 – Грубая сетка разгара и трещина на поверхности пуансона

Влияние азотирования на стойкость инструмента изучено в промышленных условиях на ОАО «ПНТЗ». Изготовление инструмента и его термообработка для его последующих испытаний на прессе производились по следующим режимам: выдержка в течение 24 часов при температуре 560-580°C в среде ионов азота. Толщина азотированного слоя, определенная на образце-свидетеле из марки стали 40Х, составила 0,50-0,75 мм. Изменение твердости инструмента после обработки представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты испытаний инструмента после азотирования

Инструмент		Твердость, HRC		Стойкость после азотирования		Причины выхода из строя
		исходная	после азотирования	шт. концов	тн	
Пуансон	API 73	40-43	56-59	20920	679	сетка разгара
	API 73	28-30	49-53	12642	579	сетка разгара
	API 73	38-43	56-60	23226	1034	сетка разгара
	API 73	39-42	55-58	9866	444	сетка разгара, выкашивание
	API 73	46-50	60-63	5672	250	трещина
Среднее значение		38-42	55-59	14465	597	
Комплект матриц	API 89	46-48	55-62	-	-	
	API 60	47-49	59-64	-	-	
	API 60	46-49	58-62	140	5	налипание металла
	ГОСТ 73	41-43	56-63	6238	285	налипание металла
	ГОСТ 73	36-38	57-61	-	-	
Среднее значение		43-45	57-62	3189	145	

Из табл. 1 видно, что изменение технологии изготовления инструмента за счет использования операции азотирования приводит к увеличению твердости поверхностного слоя пуансонов и матриц в среднем в 1,4 раза. При этом упрочнение пуансонов оказалось эффективным с точки зрения повышения стойкости, а основной причиной выхода их из строя по-прежнему было образование сетки разгара. Среднее значение стойкости азотированных пуансонов составило 597 тн, что превышает стойкость серийного инструмента (170 тн) более чем в 3,5 раза, при этом удорожание изготовления пуансонов не превысило 18,5%.

При работе на азотированных матрицах повысилась склонность к налипанию металла на инструмент. Наибольшая стойкость комплекта матриц для высадки концов труб размером

73х5,5 мм по ГОСТ 633-80 составила 285 тн, что ниже стойкости серийного инструмента (800 тн) более чем в 2,8 раза.

Исследование эффективности технологической смазки

Анализ возможности повышения технико-экономических показателей производства за счет повышения качества смазочного материала проведено в условиях производства ОАО «ПНТЗ».

При выборе смазочного материала и режимов нанесения смазки на инструмент необходимо учитывать имеющиеся особенности нанесения смазки на поверхность инструмента. При подаче на инструмент реализуется струйный способ нанесения рабочего состава смазки за счет использования сжатого воздуха. Смазка подается

одновременно через несколько форсунок круглого или эллипсовидного сечения для придания движущейся массе полидисперсных капель, т.е. факелу, необходимой формы. Достигая поверхности инструмента, факел настигается на нее и распространяется по поверхности инструмента во все стороны. Часть капель, имея достаточную скорость и нужное направление, осаждается на поверхности инструмента и образует необходимый разделительный слой смазки. Другая часть капель, потеряв скорость, не достигает поверхности инструмента и образуется туман.

К достоинствам струйного способа распыления смазки на инструмент можно отнести простоту устройства и обслуживания оборудования по нанесению смазки, как следствие высокую степень надежности работы пресса, возможность нанесения смазочных материалов с различными наполнителями, например, высокодисперсным графитом, а также обеспечение покрытия равной толщины по всей поверхности инструмента. Основным недостатком такого способа является большой расход смазочного материала за счет повышенного туманообразования. Более того, при недостаточно высокой температуре инструмента, как правило, ниже 100°C, нанесенная смазка будет стекать с его поверхности, не создавая тем самым необходимого разделительного слоя. Для образования сухого, прочного графитового слоя инструмент должен быть разогрет до температуры 200-250°C, что также способствует достижению максимальной его износостойкости [12]. К другим недостаткам можно отнести загрязнение внутреннего пространства высадочного пресса, отложение графитовой смазки на различных частях оборудования, как следствие, необходимость

частой замены направляющих и линейных подшипников механизма удержания и перемещения пуансонов.

По рекомендации фирмы SMS Meer применяется смазка Rhenus Thermosyn SGV, которая представляет собой водную эмульсию, содержащую мелкодисперсный графит, антифрикционные и диспергирующие присадки. Технические показатели смазки Thermosyn SGV представлены в табл. 2. Для операций высадки концов труб в случае применения смазки Thermosyn SGV оптимальными являются пропорции смешивания с водой от 1:6 до 1:10 (на 1 объем концентрата добавляется от 6 до 10 объемов воды).

В ходе наблюдений за работой оборудования при использовании смазки Thermosyn SGV было выявлено, что смазка наносится на инструмент с большими потерями. Определено, что наиболее эффективным является нанесение смазки на пуансон непосредственно перед самим процессом высадки, когда часть смазки не успевает высохнуть. На матрицы смазка наносится в момент, когда полусферы, в которых закреплены матрицы, находятся в разведенном неподвижном состоянии. Стеkanie рабочего состава смазки приводит к дополнительным потерям смазочного материала, имеющего невысокую степень разбавления до 1:10. Расход дорогостоящей смазки составляет 4-4,5 кг/тн.

Альтернативная смазка инструмента Deltaforge F-578 была предложена фирмой Henkel AG&Co KGaA, стоимость которой ниже стоимости смазки Thermosyn SGV. Технические показатели смазки Deltaforge F-578 представлены в табл. 2.

Таблица 2

Технические показатели смазок Thermosyn SGV и Deltaforge F-578

Показатель	Thermosyn SGV	Deltaforge F-578
Внешний вид	Густая жидкость черного цвета	Жидкость средней вязкости
Запах	Легкий аммиачный	Отсутствует
Средняя плотность при 20°C, кг/м ³	1050	1102
Значение pH при 20°C	9,5-10,5	Около 11,5
Срок хранения	12 месяцев	24 месяца

В промышленных опытах применяли различную степень разбавления: 1:5; 1:9; 1:12; 1:17; 1:35, а температура пуансона была повышена до 110-140°C [2]. Во всех опытах смазка различной концентрации дала положительный результат по формоизменению конца трубы, достижению требуемой точности размеров. Варианты со степенью разбавления 1:5, 1:9, 1:12, 1:17 связаны с повышенным расходом смазки, неудовлетворительным высыханием на инструменте и со стеканием смазки с пуансона. Поэтому в дальнейшем было рекомендовано соотношение концентрата смазки и воды 1:30. При этом были исключены потери смазки за счет того,

что она успевает высохнуть на поверхности инструмента до начала процесса прессования. В настоящее время расход смазки составляет 1,84 кг/тн.

Модернизация технологии высадки концов труб на прессе фирмы SMS Meer, связанная с выбором эффективного смазочного материала и повышением качества его нанесения на инструмент, позволили ОАО «ПНТЗ» более чем в 2,5 раза снизить затраты на смазку при производстве высококачественных насосно-компрессорных труб с высаженными концами.

Освоение производства насосно-компрессорных и бурильных труб

Гарантийно-сдаточные испытания высадочного пресса на ОАО «ПНТЗ» проводились на трубах размером 73х5,5 мм по ГОСТ 633-80. Инструмент для высадки изготавливался по чертежам фирмы SMS Meer. Технологическая смазка инструмента Rhenus Thermosyn SGV также была рекомендована фирмой SMS Meer. Основные проблемы в этот период возникли с несоответствием размеров и качества поверхности высаженного конца трубы требованиям стандарта. Опытные работы при изготовлении НКТ с размерами 73,02х5,51 мм с менее жесткими требованиями по API 5CT подтвердили актуальность проблемы повышения точности концов труб. Лучший результат по выходу годного был достигнут на уровне 10%. Специалистами фирмы была разработана усовершенствованная калибровка инструмента, применение которой позволило повысить выход годного до 73%. Основными причинами несоответствий были:

- кольцевые незаполнения на наружной поверхности цилиндрической части высадки;
- отдельные раковины;
- продольные риски;
- незаполнения на внутренней поверхности высаженной части, особенно в зоне конического пояса.

В дальнейшем работа по освоению производства НКТ с высаженными концами производилась специалистами ОАО «ПНТЗ» с некоторым участием УрФУ имени первого Президента России Б.Н.Ельцина. Была разработана новая калибровка инструмента на весь сортимент НКТ: 60,3х5,0 мм, 73х5,5 мм, 88,9х6,5 мм по ГОСТ 633-80; 60,32х4,83 мм, 73,02х5,51 мм, 88,9х6,45 мм по API 5CT. Успеху освоения новой калибровки инструмента способствовали результаты исследования формоизменения металла

при высадке с различными условиями трения на контактной поверхности. Положительными результатом исследовательской работы было увеличение выхода годной продукции для труб 73х5,5 мм до 98%. Однако сохранились проблемы, связанные с повышенным расходом смазки (6-8 кг/тн) и низкой стойкостью пуансонов, которая составляла менее 170 тн. Указанные проблемы были успешно решены за счет изменения технологии изготовления инструмента, выбора оптимальной технологической смазки и изменения режима ее нанесения на инструмент.

В 2013 году на ОАО «ПНТЗ» разработана и успешно опробована новая технология производства труб-полуфабрикатов для изготовления бурильных труб с приваренными замками размером ПН 73х9 в соответствии с ГОСТ Р 50278-92. Новая технология предусматривает утолщение концов труб на гидравлическом прессе фирмы SMS Meer. При этом, несмотря на увеличение толщины стенки бурильных труб в сравнении с НКТ, операция высадки производится за один ход пуансона. На ведущих заводах отрасли ОАО «СинТЗ» и ОАО «Тагмет» высадка концов бурильных труб осуществляется за три-четыре перехода. Следует также отметить, что успешному освоению производства нового вида продукции способствовали результаты комплекса научных исследований по высадке концов насосно-компрессорных и бурильных труб, в том числе расчет калибровки инструмента и определение оптимальных режимов прессования с применением метода конечных элементов.

В августе 2013 года произведена первая опытная партия труб в количестве 30 т (рис. 13). В настоящее время ведутся работы по освоению следующего типоразмера бурильных труб ПН 89х11.



слева – после высадки; справа – в разрезе
Рис. 13 – Высаженный конец бурильной трубы ПН 73х9

Заключение

В работе рассмотрены вопросы повышения эффективности производства насосно-компрессорных труб с высаженными концами на гидравлических прессах SMS Meer, а также

вопросы обеспечения высокого уровня качества готовой продукции.

Анализ особенностей формоизменения металла в очаге деформации позволил выявить наиболее вероятные места образования дефектов и определить способы их устранения. В результате

анализа температурных условий процесса было рекомендовано установить значение коэффициента излучения 0,93 в настройках второго индуктора с целью корректного отображения температуры нагрева, а также найдена зависимость для определения длины нагрева с учетом потерь тепла за счет теплопроводности. В работе предложена методика расчета энергосиловых параметров процесса, а также найдена зависимость для определения усилий деформации для наружной высадки концов труб. Показано, что предложенная математическая модель имеет достаточную точность при расчете усилий прессования и может быть использована при разработке технологий высадки новых типоразмеров труб. Найдены эффективные меры повышения стойкости инструмента и качества поверхности труб, а также даны рекомендации по повышению технико-экономических показателей производства насосно-компрессорных труб с высаженными концами за счет повышения качества технологической смазки.

Результаты комплекса научных исследований, представленные в работе, использованы на ОАО «ПНТЗ» и позволили:

1. успешно освоить производство насосно-компрессорных труб с высаженными наружу концами;
2. обеспечить выход годной продукции при высадке насосно-компрессорных труб на уровне 99,8%;
3. впервые в практике эксплуатации прессов фирмы SMS Meer освоить технологию высадки концов буровых труб ПН 73х9 в один переход;
4. расширить технологические возможности гидравлического пресса фирмы SMS Meer по сравнению с заявленными производителем оборудования.

Список литературы

1. Ткаченко А.В. и др. Трубы для нефтяной промышленности. – М. : Металлургия, 1986. – 256 с.
2. Дронов А.И., Ерпалов М.В., Богатов А.А. и др. Проблемы и достижения в производстве насосно-компрессорных труб с высаженными концами на ОАО «ПНТЗ» // Труды IX Конгресса прокатчиков (том 1), г. Череповец, 2013. – С. 170-176.
3. Остренко В.Я. Технологические особенности высадки труб в закрытых матрицах // Металлургическая и горнорудная промышленность, 1965. – №1. – С. 33-35.
4. Шевченко А.А. Исследование некоторых вопросов процесса высадки труб // Производство труб: сборник статей по теории и практике трубного производства. М. : Металлургия, 1971. – Вып. 25. – С. 171-175.
5. Остренко В.Я. Исследование процесса высадки труб методом фотоупругости //

Металлургическая и горнорудная промышленность, 1967. – №3. – С. 32-34.

6. Баричко Б.В. Исследование процесса высадки концов буровых труб // Труды VIII Конгресса прокатчиков, г.Магнитогорск, 2010. – Т.1. – С. 284-290.
7. Ерпалов М.В., Богатов А.А. Особенности формоизменения металла в процессе высадки концов труб (Features of metal forming in the pipe end upsetting process) // Труды XIV Международной научной конференции «Новые технологии и достижения в металлургии и материаловедении», г. Ченстохова, 2012.
8. Остренко В.Я. Аналитический метод определения силовых и энергетических параметров высадки концов труб // Производство труб: сборник трудов ВНТИТИ. М. : Металлургия, 1968. – Вып. 20. – С. 223-230.
9. Стрижак В.И. Определение силовых параметров при высадке концов труб на горизонтально-ковочной машине мощностью 12500 кН (1250 Т) // Производство труб: сборник трудов ВНТИТИ. – М. : Металлургия, 1969. – Вып. 22. – С. 223-230.
10. Смирнов В.С. Теория обработки металлов давлением. – М. : Металлургия, 1973. – 496с.
11. Афонин В.К., Ермаков Б.С., Лебедев Е.Л. и др. Металлы и сплавы. Справочник. Издательство НПО «Профессионал», 2003. – 1092 с.
12. Петров А.Н., Петров П.А., Петров М.А. Комплексное исследование коллоидно-графитовых смазочных материалов на водной основе // Сборник трудов конференции 145-летие МГТУ «МАМИ», 2010. – С. 98-106.